

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 1998/99

Februari 1998

BOI 109/4 - Biostatistik
BOO 284/4 - Biostatistik

Masa : [3 jam]

Jawab LIMA daripada ENAM soalan yang diberikan, dalam Bahasa Malaysia.

Tiap-tiap soalan bernilai 20 markah.

Utamakan kaedah parametrik. Guna statistik nonparametrik **hanya** jika kaedah parametrik tidak boleh digunakan.

1. Kepekatan fosfat ($\mu\text{g/ml}$) dalam suatu tasik telah dikaji dengan menggunakan dua kaedah analisis. Tujuan eksperimen tersebut adalah untuk menguji sama ada dua kaedah tersebut memberikan keputusan yang sama atau tidak. Adalah diketahui juga bahawa kepekatan fosfat berbeza mengikut lokasi dari mana sampel diperolehi.

<u>Lokasi</u>	<u>Kaedah A</u>	<u>Kaedah B</u>
1	11	6
2	8	7
3	32	19
4	17	14
5	10	10
6	17	12
7	9	7
8	19	16
9	30	20
10	7	6

- (a) Lakukan analisis untuk menguji sama ada dua kaedah analisis itu berbeza atau tidak ($p=0.05$) dengan menggunakan kaedah statistik dua sampel berpasangan dan juga kaedah statistik dua sampel tak bersandar.

(16 markah)

- (b) Bandingkan keputusan daripada dua kaedah statistik tersebut dan jelaskan kaedah yang manakan lebih secocok dengan eksperimen yang telah dijalankan.

(4 markah)

[BOI 109/4]
[BOO 284/4]

2. Data yang berikut telah diperolehi daripada suatu eksperimen untuk mengkaji pertalian di antara berat ikan dengan penggunaan oksigen:

<u>Berat (g)</u>	<u>Penggunaan oksigen (ml³)</u>
1	12
3	42
5	60
7	78
9	98
11	115

- (a) Lukiskan graf untuk menggambarkan pertalian di antara dua variabel yang berkenaan.

(4 markah)

- (b) Tuliskan persamaan yang mengaitkan dua variabel yang berkenaan dan gunakan persamaan itu untuk meramalkan penggunaan oksigen pada berat ikan 8 g.

(8 markah)

- (c) Lakukan analisis varians untuk menentukan sama ada persamaan itu sah atau tidak ($p=0.05$)

(8 markah)

...4/-

3. Kepekatan logam berat (mg/ml) mencerminkan tahap pencemaran sebuah sungai. Sebanyak 8 ukuran untuk kandungan logam berat telah diperolehi untuk sebuah sungai dengan keputusan seperti berikut:

96.1, 90.8, 94.1, 92.6, 95.5, 96.3, 95.6, 97.7

- (a) Hitungkan selang keyakinan untuk min kepekatan logam berat pada paras keyakinan 99%.
- (b) Seandainya kepekatan logam berat kurang daripada 90 mg/ml mencerminkan sungai tidak tercemar, adakah sungai yang dikaji ditakrifkan sebagai tercemar atau tidak? Jelaskan.
- (c) Jika dikehendaki selang yang tidak melebihi 3.0 mg/ml, adakah saiz sampel yang telah diperolehi memadai? Jika tidak, apakah saiz sampel minimum pada paras keyakinan 99%?
- (d) Seandainya kepekatan logam berat tertabur secara normal dengan min 94.0 mg/ml dan sisihan piawai 2.3 mg/ml, apakah kebarangkalian akan didapati kepekatan logam berat kurang daripada 92.0 mg/ml; di antara 90.0 hingga 95.2 mg/ml; melebihi 96.0 mg/ml?

(8 markah)

(12 markah)

4. Suatu eksperimen telah dijalankan untuk menguji kesan cahaya pada dua jarak gelombang berlainan terhadap pertumbuhan sejenis paku pakis. Pada masa yang sama, gerakbalas paku pakis berlainan usia (muda dan tua) terhadap dua jarak gelombang itu juga dikaji. Eksperimen tersebut telah dijalankan menggunakan rekabentuk rawak lengkap dengan empat replikat. Pertumbuhan direkodkan sebagai garispusat batang (mm).

[BOI 109/4]
[BOO 284/4]

<u>Jarak gelombang (nm)</u>			
<u>420</u>		<u>600</u>	
<u>Muda</u>	<u>Tua</u>	<u>Muda</u>	<u>Tua</u>
16.0	13.0	36.9	31.3
18.3	12.8	35.2	32.0
14.2	13.8	34.9	27.5
15.1	12.0	32.1	29.5

Jalankan analisis data tersebut untuk menguji sama ada jarak gelombang cahaya dan usia mempengaruhi pertumbuhan paku pakis. Tentukan juga sama ada terdapat interaksi di antara jarak gelombang cahaya dengan usia dan hitung kesan-kesan yang secocok dengan keputusan analisis data ($P = 0.05$).

(20 markah)

5. Untuk menguji sama ada kiriman biji benih jagung dari sebuah negara tercemar dengan biji benih rumpai, sebanyak 100 sampel setiap satu bersaiz 100g telah diperiksa. Keputusan yang berikut telah diperolehi:-

<u>Bilangan biji benih/sampel</u>	<u>Frekuensi</u>
0	5
1	14
2	23
3	22
4	17
5	11
6	5
7	2
8	1
9	0

...6/-

[BOI 109/4]
[BOO 284/4]

- (a) Lakukan ujian statistik untuk menguji sama ada kehadiran biji benih rumpai berlaku secara rawak atau tidak.
- (b) Kiriman biji benih itu akan dikelaskan sebagai gred A jika purata bilangan biji benih rumpai kurang daripada 2. Bolehkan kiriman ini diberi gred A?
- (c) Apakah kebarangkalian satu sampel bersaiz 100g akan mengandungi ≥ 2 biji benih rumpai?

(20 markah)

6. (a) Berikut adalah ringkasan suatu eksperimen yang mengkaji keberkesanan lima jenis baja baru berbanding dengan baja lama terhadap hasil padi.

<u>Perlakuan</u>	<u>Min hasil (g/m²)</u>
Lama	250.0 a
Welgro	282.4 bc
Fastgro	275.1 b
Champion	259.4 a
Plantgro	291.6 d
Hiyield	285.1 c

Min-Min yang diikuti dengan abjad yang sama tidak berbeza secara bererti ($p=0.05$) mengikut ujian julat multipel Duncan.

Berdasarkan ringkasan eksperimen tersebut berikan interpretasi data yang sewajarnya dan syorkan baja yang manakah harus digunakan untuk memaksimumkan hasil padi.

(8 markah)

...7/-

[BOI 109/4]
[BOO 284/4]

(b) Anda ingin menjalankan suatu eksperimen untuk membanding kadar pertumbuhan empat varieti kacang soya di dalam sebuah rumah tumbuhan yang mempunyai bumbung yang tidak seragam seperti di bawah:-

Plastik lutsinar	Kelambu	Ubin
------------------	---------	------

Jika anda ingin menggunakan empat replikat, tunjukkan susunatur unit-unit eksperimen yang sewajarnya dan camkan rekabentuk eksperimen yang telah digunakan. Seterusnya tuliskan hipotesis nol dan alternatif yang sepadan dengan rekabentuk tersebut. Camkan setiap komponen hipotesis anda.

(8 markah)

(c) Selain menjalankan pengujian hipotesis apabila membandingkan dua sampel, selang keyakinan perbezaan di antara dua min juga boleh dihitung. Apakah kelebihan pengiraan selang keyakinan itu?

Suatu eksperimen bertujuan membanding keberkesanan sejenis fungisid untuk mengawal penyakit reput akar pada kacang soya. Keberkesanan diukur sebagai peningkatan hasil kacang soya. Akibat eksperimen tersebut selang keyakinan untuk perbezaan min hasil (fungisid lawan kawalan) pada paras keyakinan 95% dikira sebagai 0.4 ± 0.5 kg. Adakah fungisid itu berkesan? Jelaskan.

(4 markah)

- oooOooo -

LAMPIRAN 1

FORMULA-FORMULA PANDUAN

1. Dua sampel berpasangan

$$t = \frac{\bar{d}}{Sd/\sqrt{n}}$$

2. Dua sampel tak bersandar

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$S^2_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \frac{Sp^2 (n_1 + n_2)}{n_1 n_2}$$

3. Regresi Linear

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

SS regresi = bS_{xy} di mana $S_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n}$
(df = 1)

SS ralat = $S_{yy} - bS_{xy}$ di mana $S_{yy} = \frac{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{n}$
(df = n-2)

SS jumlah = S_{yy}
(df = n-1)

...2/-

4. Selang keyakinan = $\bar{x} \pm k (\sigma/\sqrt{n})$.

5. $n = \frac{k^2 \sigma^2}{l^2}$

6. Chi Kuasa Dua = $\frac{\sum (O_i - E_i)^2}{E_i}$

7. Taburan Poisson

$$P(x) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}$$

CUMULATIVE DISTRIBUTION: STANDARD NORMAL

$$F_z(z) = P[Z \leq z]$$

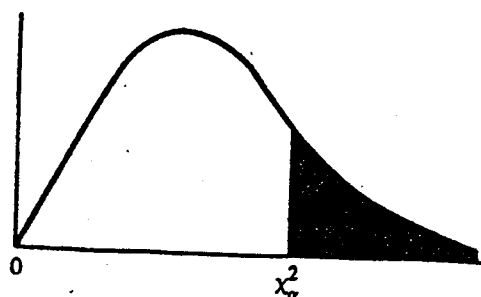
z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0352	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0722	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9013
1.3	0.9031	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9278	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Reprinted with permission of Macmillan Publishing Company, Inc., from Ronald Walpole and Raymond Myers, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, 2d ed., 1978, p. 513

5% (ROMAN TYPE) AND 1% (BOLD FACE TYPE) POINTS FOR THE DISTRIBUTION OF F

f_1	f_2 Degrees of Freedom (for greater mean square)																			f_2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	1
	4.052	4.999	5.403	5.625	5.764	5.859	5.928	5.981	6.022	6.056	6.082	6.106	6.142	6.169	6.208	6.234	6.261	6.286	6.302	2
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.36	19.37	19.38	19.39	19.40	19.41	19.42	19.43	19.44	19.45	19.46	19.47	19.48	3
	98.49	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.44	99.45	99.46	99.47	99.48	99.49	4
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.88	8.84	8.81	8.78	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66	8.64	8.62	8.60	8.58	5
	34.12	30.82	29.36	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92	26.83	26.69	26.60	26.50	26.41	26.35	6
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.93	5.91	5.87	5.84	5.80	5.77	5.74	5.71	5.70	7
	21.20	18.69	16.69	15.03	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.54	14.45	14.37	14.24	14.15	14.02	13.93	13.83	13.74	13.69	8
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.78	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	4.50	4.46	4.44	9
	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.45	10.29	10.15	10.05	9.96	9.89	9.77	9.68	9.55	9.47	9.38	9.29	9.24	10
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.87	3.84	3.81	3.77	3.75	11
	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60	7.52	7.39	7.31	7.23	7.14	7.09	12
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.63	3.60	3.57	3.52	3.49	3.44	3.41	3.38	3.34	3.32	13
	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	7.00	6.84	6.71	6.62	6.54	6.47	6.35	6.27	6.15	6.07	5.98	5.90	5.85	14
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.34	3.31	3.28	3.23	3.20	3.15	3.12	3.08	3.05	3.03	15
	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.19	6.03	5.91	5.82	5.74	5.67	5.56	5.48	5.36	5.28	5.20	5.11	5.06	16
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.13	3.10	3.07	3.02	2.98	2.93	2.90	2.86	2.82	2.80	17
	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.62	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.00	4.92	4.80	4.73	4.64	4.56	4.51	18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.97	2.94	2.91	2.86	2.82	2.77	2.74	2.70	2.67	2.64	19
	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.21	5.06	4.95	4.85	4.78	4.71	4.60	4.52	4.41	4.33	4.25	4.17	4.12	20
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.86	2.82	2.79	2.74	2.70	2.65	2.61	2.57	2.53	2.50	21
	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29	4.21	4.10	4.02	3.94	3.86	3.80	22
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.92	2.85	2.80	2.76	2.72	2.69	2.64	2.60	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	23
	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.65	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05	3.98	3.86	3.78	3.70	3.61	3.56	24
13	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.84	2.77	2.72	2.67	2.63	2.60	2.55	2.51	2.46	2.42	2.38	2.34	2.32	25
	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.85	3.78	3.67	3.59	3.51	3.42	3.37	26

Critical Values of the Chi-square Distribution



ν	α							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.004393	0.00457	0.00482	0.00503	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.070	12.832	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.520	11.524	13.120	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892	53.672

* Abridged from Table 8 of *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. I, by permission of E. S. Pearson and the Biometrika Trustees.

TABLE B.3 Critical Values of the *t* Distribution

<i>v</i>	$\alpha(2):$ $\alpha(1):$	0.50 0.25	0.20 0.10	0.10 0.05	0.05 0.025	0.02 0.01	0.01 0.005	0.005 0.0025	0.002 0.001	0.001 0.0005
1		1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.321	318.309	636.619
2		0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.327	31.599
3		0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.215	12.924
4		0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5		0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6		0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7		0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8		0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9		0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10		0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11		0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12		0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13		0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14		0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15		0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16		0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17		0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18		0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19		0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20		0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21		0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22		0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23		0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24		0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25		0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26		0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27		0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28		0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29		0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30		0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
31		0.682	1.309	1.696	2.040	2.453	2.744	3.022	3.375	3.633
32		0.682	1.308	1.694	2.037	2.449	2.738	3.015	3.365	3.622
33		0.682	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733	3.008	3.356	3.611
34		0.682	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728	3.002	3.348	3.601
35		0.682	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	2.996	3.340	3.591
36		0.681	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719	2.990	3.333	3.582
37		0.681	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715	2.985	3.326	3.574
38		0.681	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712	2.980	3.319	3.566
39		0.681	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708	2.976	3.313	3.558
40		0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
41		0.681	1.303	1.683	2.020	2.421	2.701	2.967	3.301	3.544
42		0.680	1.302	1.682	2.018	2.418	2.698	2.963	3.296	3.538
43		0.680	1.302	1.681	2.017	2.416	2.695	2.959	3.291	3.532
44		0.680	1.301	1.680	2.015	2.414	2.692	2.956	3.286	3.526
45		0.680	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	2.952	3.281	3.520
46		0.680	1.300	1.679	2.013	2.410	2.687	2.949	3.277	3.515
47		0.680	1.300	1.678	2.012	2.408	2.685	2.946	3.273	3.510
48		0.680	1.299	1.677	2.011	2.407	2.682	2.943	3.269	3.505
49		0.680	1.299	1.677	2.010	2.405	2.680	2.940	3.265	3.500
50		0.679	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	2.937	3.261	3.496

This table was prepared using Equations 26.7.3 and 26.7.4 of Zelen and Severo (1964), except for the values at infinity degrees of freedom, which are adapted from White (1970). Except for the values at infinity degrees of freedom, *t* was calculated to eight decimal places and then rounded to three decimal places.

Examples:

$$t_{0.05(2), 13} = 2.160 \quad \text{and} \quad t_{0.01(1), 19} = 2.539$$